

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/002318

International filing date: 16 February 2005 (16.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-044590
Filing date: 20 February 2004 (20.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 24 March 2005 (24.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

02.03.2005

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 2 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 4 4 5 9 0
Application Number:

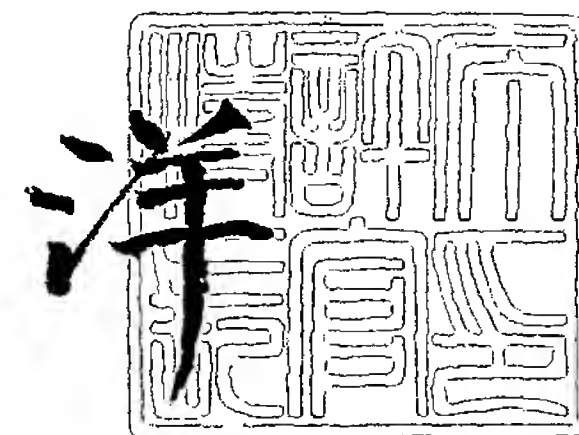
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 4 - 0 4 4 5 9 0]

出 願 人 日 本 電 気 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 0 月 8 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 33410011
【提出日】 平成16年 2月20日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01L 27/15
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
 【氏名】 佐藤 健二
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
 【氏名】 工藤 耕治
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
 【氏名】 加藤 友章
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
 【氏名】 千田 浩明
【特許出願人】
 【識別番号】 000004237
 【氏名又は名称】 日本電気株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100123788
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 宮崎 昭夫
 【電話番号】 03-3585-1882
【選任した代理人】
 【識別番号】 100088328
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 金田 暢之
【選任した代理人】
 【識別番号】 100106297
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 伊藤 克博
【選任した代理人】
 【識別番号】 100106138
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 石橋 政幸
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 201087
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0304683

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源であって、

前記電界吸収型光変調器は、前記高抵抗半導体基板の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される 1 対の電極を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さを L 、動作周波数を B とするとき、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$

の条件を満たすように構成されている変調器集積化光源。

【請求項 2】

前記電界吸収型光変調器の吸収ピーク波長が前記半導体レーザの発振波長より短く、室温において、前記発振波長と前記吸収ピーク波長の差であるデチューニング量のエネルギー換算値 ΔX が、

$$40 \text{ meV} \leq \Delta X \leq 100 \text{ meV}$$

の条件を満たすように構成されている、請求項 1 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 3】

最低動作温度において印加される前記所定のバイアス電圧が 1 V 以下である、請求項 2 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 4】

前記一対の電極が P 型電極と N 型電極であり、前記 P 型電極が進行波電極である、請求項 1 または 2 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 5】

前記電界吸収型光変調器の活性層はアンドープ層を有し、該アンドープ層の厚さが、前記半導体レーザからの発振光の進行方向に向かって徐々に薄くなっている、請求項 4 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 6】

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層が、半導体または誘電体による埋め込み層よりなる、請求項 1 または 2 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 7】

前記埋め込み層がアンドープ層である、請求項 6 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 8】

前記半導体レーザの活性層の量子井戸と前記電界吸収型光変調器の活性層の量子井戸がバットジョイント結合されている、請求項 1 または 2 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 9】

前記電界吸収型光変調器の量子井戸は、井戸の導電帯のエネルギーレベルがバリアの導電帯のエネルギーレベルよりも高く、かつ、井戸の価電子帯のエネルギーレベルがバリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも高い構造である、請求項 8 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 10】

前記電界吸収型光変調器の活性層の組成にアルミニウムを含む、請求項 1 または 2 に記載の変調器集積化光源。

【請求項 11】

半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源の製造方法であって、

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を含む領域に第 1 のバンドギャップを有する活性層を成長する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程で形成した活性層の、前記電界吸収型光変調器の活性層の領域に対応する部分を削除して前記半導体レーザの活性層とする第 2 の工程と、

前記第 2 の工程で削除された領域に、前記電界吸収型光変調器の活性層として、前記第 1 のバンドギャップとは異なる第 2 のバンドギャップを有する活性層を成長する第 3 の工

程を含む変調器集積化光源の製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 変調器集積化光源およびその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザと電界吸収型光変調器を同一基板上に集積化した変調器集積化光源に関し、特に、光ファイバ通信において用いられる $1.3\mu\text{m}$ 帯や $1.55\mu\text{m}$ 帯において低電圧および広温度範囲で動作する変調器集積化光源に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ通信用光源として、分布帰還型半導体レーザ (Distributed Feedback Laser: DFB-LD) と電界吸収型変調器 (Electro-Absorption Modulator: EA 変調器) とを同一半導体基板上に集積化した変調器集積化光源の実用化が進展している。この変調器集積化光源は、変調時の波長変動が小さいため、主に中長距離大容量光ファイバの通信用光源として使われている。

【0003】

変調器集積化光源では、通常、多重量子井戸 (Multi Quantum Well: MQW) 構造の EA 変調器が用いられる。MQW 構造の EA 変調器では、逆バイアス電圧を印加すると、量子閉じ込めシュタルク効果 (Quantum Confined Stark Effect) によりエキシトン (励起子) の吸収端が長波長側 (低エネルギー側) にシフトし、その結果、分布帰還型半導体レーザからの連続発振光 (CW (Continuous Wave) 光) が吸収 (消光) される (特許文献 1 参照)。

【0004】

図 6 に、従来の変調器集積化光源の標準的な構造例を模式的に示す。図 6 を参照すると、変調器集積化光源は、レーザ部と変調器部を同一の $n\text{-I n P}$ 基板 31 上に形成したものである。 $n\text{-I n P}$ 基板 31 上には、導波層 5 および $n\text{-I n P}$ クラッド層 7 が導波方向にわたって形成されており、一方の端面には高反射コート 16 が、他方の端面には低反射コート 17 がそれぞれ形成されている。 $n\text{-I n P}$ 基板 31 と導波層 5 の境界面の一部に、 $\lambda/4$ 位相シフト構造 4 を備えた回折格子 3 を有する。導波層 5 と $n\text{-I n P}$ クラッド層 7 の間には、導波方向に隣接して形成されたレーザ部の活性層 (量子井戸) 6 と変調器部の活性層 (量子井戸) 11 を有する。 $n\text{-I n P}$ クラッド層 7 上には、キャップ層 8 を介して P 電極 9 が、キャップ層 13 を介して P 電極 14 がそれぞれ形成されている。キャップ層 8 および P 電極 9 はレーザ部を構成するものであり、キャップ層 13 および P 電極 14 は変調部を構成するものであり、これらは電極分離部 15 にて分離されている。 $n\text{-I n P}$ 基板 31 の裏面には、P 電極 9、14 と対向する N 電極 32 が形成されている。

【0005】

上記の変調器集積化光源において、変調器部は、電界による吸収係数の変化によって生じる電界吸収効果を適用した EA 変調器であり、レーザ部は分布帰還型半導体レーザである。変調器部では、P 電極 14 と N 電極 32 の間に逆バイアス電圧を印加すると、上記の量子閉じ込めシュタルク効果により、分布帰還型半導体レーザからの CW 光が吸収 (消光) される。この吸収動作を利用して光変調が行われる。

【0006】

ところで、変調器集積化光源に求められる重要な性能の一つに変調速度がある。変調速度を制限する主な要因は、変調器部における活性層および電極パッドの静電容量である。そこで、例えば 10Gb/s (ギガビット/秒) や 40Gb/s という変調速度を実現する場合は、活性層の静電容量をできるだけ削減するために、通常は、変調器長 L を短くして変調器の面積を小さくする、といったことが行われる。具体的には、 10Gb/s であれば、変調器長 L は $160\mu\text{m}$ とされ、 40Gb/s であれば、変調器長 L はその $1/4$ である $40\mu\text{m}$ とされる。なお、変調器長を短くした場合は、十分な消光比 (ON/OFF 比) を得るために、変調器に大きな電圧をかける必要があり、そのための構成としてドライバ回路が必須となる。

【0007】

特許文献2には、静電容量をさらに低減した集積型光変調器が記載されている。この集積型光変調器では、通常のNまたはP型の導電性基板に代えて高抵抗基板が用いられ、P電極とN電極のパッドが対向しない構造になっている。この構造によれば、電極パッド部分の静電容量を低減できるため、残留静電容量は活性層部分のみとなる。したがって、大幅に静電容量Cが削減されることになり、CR時定数によって決定される変調帯域が飛躍的に向上する。

【0008】

また、変調器集積化光源に求められる性能として、変調速度と並んで重要なものに消光比がある。通常、変調器は、印加電圧が0Vのときに吸収が無く、有電界時に吸収が生じるように構成されており、良好な吸収が得られるように、変調器の吸収層(MQW)のエネルギーバンドギャップと分布帰還型半導体レーザの発振波長が設定される。分布帰還型半導体レーザ素子の発振波長を λ 、光変調器の利得ピーク波長を λ_0 とすると、その波長差であるデチューニング量 $\Delta\lambda$ ($=\lambda-\lambda_0$) が、吸収特性を決定する重要なパラメータとされる。

【0009】

特許文献1には、デチューニング量 $\Delta\lambda$ と光吸収スペクトルとの関係が開示されている。デチューニング量の設定において、動作電圧の高低と挿入損失の大小とは、トレードオフの関係にある。従来は、デチューニング量は50～70nmに設定されており、この設定において最も消光比が高くなることが知られている。消光比が高いほど、変調電圧に対する光の変調度が高くなる。これは、低電圧駆動に向いていることを意味する。ただし、光通信用途に十分な10デシベル以上の消光比を得るためには、変調器の駆動電圧振幅を2V～3Vとする必要があり、そのため、通常は、周辺ロジック回路の電圧振幅(1V以下)を増幅するためのドライバが必要である。

【0010】

また、デチューニングを設定するにあたっては、変調器集積化光源の想定動作温度も重要である。一般に、動作温度が高くなるほど、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発振波長に近づく。このように動作温度が高くなるとデチューニング量が小さくなるため、通常は、常に消光比が最大となるように、ペルチェ素子等を用いて温度を一定に保つことで一定のデチューニング量を維持している。

【0011】

なお、デチューニング量は、波長差(nm)とエネルギー換算値(meV)のいずれで記載してもよい。波長差からエネルギー差への変換式は、

$$\text{エネルギー (eV)} = 1.24 / \text{波長 (\mu m)}$$

である。この変換式によれば、消光比が最大となるデチューニング量として、例えば1.55 μ m帯で波長差50～70nmが設定されている場合は、そのエネルギー換算値は27～38meVになる。

【0012】

エネルギー換算値(meV)で記載した場合は、波長帯によらない普遍的な値として表すことができる。ただし、異なる波長帯においては、同じ波長差のデチューニング量(nm)であってもそれぞれのエネルギー換算値は異なる。例えば、1.55 μ m帯において、波長差で50nmのデチューニング量はエネルギー差で27meVとなるが、1.3 μ m帯においては、波長差で50nmのデチューニング量は、エネルギー差で38meVとなる。物理学的には、デチューニング量がエネルギー換算値で等しい場合、波長帯によらず特性が等しくなる。以降の説明では、便宜上、デチューニング量は全てエネルギー換算値で記載する。

【0013】

また、非特許文献1には、非温調動作を実現した変調器集積化光源が記載されている。この変調器集積化光源は、温度によってデチューニング量が変わっても、それに応じて光変調器のOffset電圧を変化させていくことにより、消光特性を維持するものである。

。ここで、Offset 電圧は、変調器にかけている変調電圧信号の中心電圧であって、一般に、3 デシベル分の光が変調器で吸収されるときに印加電圧で規定されることが多い。この非特許文献 1 に記載の構造によれば、特に低温側では、デチューニング量が大きくなるため、消光に必要な変調器の Offset 電圧は 4 V 以上にまで高くなる。

【特許文献 1】特開 2003-60285 号公報（第 7 頁、図 8 等）

【特許文献 2】特許 2540964 号（第 5 頁、図 1）

【非特許文献 1】ミ lind・R・ゴックホル（Milind R. Gokhale）著「Uncooled, 10Gb/s 1310 nm Electroabsorption Modulated Laser」（Optical Fiber Communication 2003）、2003 年 3 月、ポストデッドラインペーパー、PD-42（第 1 頁、図 2）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、上述した従来の変調器集積化光源には、以下のような問題がある。

【0015】

特許文献 1、2 に記載の変調器集積化光源においては、変調器の動作電圧が高いため、その動作電圧を得るための増幅器（ドライバ）が必要となる。例えば、一般に用いられている、変調器長が $100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ 程度の変調器集積化光源（例えば 10Gb/s 用）においては、変調器に印加する電圧は 2 V 以上になり、ピーク値で 2 V 以上の電圧を作り出すことのできる増幅器が必要となる。このように増幅器を設ける必要があるため、コストや小型化の面で不利なものとなっていた。なお、変調器長を長くすることで動作電圧を低減することができるが、この場合は、変調器の活性層部の静電容量 C が大きくなるため、高速動作を行うことができなくなる。

【0016】

また、常に最大消光比を得るためには、変調器集積化光源を一定温度に保つ必要があり、そのための構成として、ペルチェ素子を搭載し、外部にその温度制御機構を付帯させる必要がある。このようなペルチェ素子等の付加は、コストや小型化の面で不利になる他、装置全体の消費電力も著しく増大することになる。

【0017】

非特許文献 1 に開示された変調器集積化光源においても、変調器の動作電圧が高いため、上記と同様、コストや小型化の面で不利になる。

【0018】

また、半導体埋め込み構造ではなく、光を変調器吸収層に十分閉じ込めることができないリッジ構造であるため、吸収効率が低く、消光特性も悪い。通常、変調器集積化光源には 10 デシベル以上の消光比が求められているが、非特許文献 1 に記載のものでは、変調器の消光比は 6 デシベルと低く、10 デシベル以上の消光比を実現することは困難である。

【0019】

本発明の目的は、上記問題を解決し、増幅器（ドライバ）や温度調整機構が不要で、光通信用途として十分な 10 dB 以上の消光比を得ることのできる、低コストで小型の変調器集積化光源およびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記目的を達成するため、本発明の変調器集積化光源は、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源であって、

前記電界吸収型光変調器は、前記高抵抗半導体基板の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される 1 対の電極を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さを L、動作周波数を B とするとき、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$

の条件を満たすように構成されていることを特徴とする。

【0021】

上記のように、電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積され、一对の電極（P電極およびN電極）がともに同じ基板面側に位置するように構成された場合、電界吸収型光変調器の静電容量は、その活性層の静電容量のみとみなすことができるので、変調速度 B （Gb/s）と変調器長 L （ μm ）は反比例の関係になる。このような構造の場合、変調速度を高くするために、通常は、変調器長 L を短くするが、本発明では、変調器長 L を長くする、といった通常とは反対の構造をとる。具体的には、変調速度が 10Gb/s の場合、従来は変調器長 L を $200\mu\text{m}$ 未満に設定していたのに対して、本発明では、変調器長 L を $200\mu\text{m}$ 以上に設定する。このように変調器長 L を長くすることで、変調器を通過する光をより多く吸収することができるようになるので、 10dB 以上の消光比を得られるとともに、増幅器（ドライバ）が不要な構成、すなわち動作電圧が 1V 以下の低電圧動作が可能となる。

【0022】

変調器長 L を長くすると必ず変調帯域が下がるため、上記の本発明の構造は通常では考えられない構造である。例えば、特許文献 1、2 の構造では、変調帯域向上が課題であったため、変調器長を長くすることは示唆されていない。このように、本発明は、従来からは容易に想到することのできない構造である。

【0023】

上述した本発明の変調器集積化光源において、前記電界吸収型光変調器の吸収ピーク波長が前記半導体レーザの発振波長より短く、室温において、前記発振波長と前記吸収ピーク波長の差であるデチューニング量のエネルギー換算値 ΔX が、

$$40\text{meV} \leq \Delta X \leq 100\text{meV}$$

の条件を満たすように構成してもよい。この構成によれば、以下のような作用を有する。

【0024】

従来は、室温におけるデチューニング量（ meV ）を $27 \sim 38\text{meV}$ 程度に設定していたため、変調器は室温付近でしか動作しなかった。これに対して、本発明では、室温におけるデチューニング量（ meV ）は 40meV 以上とされる。具体的には、室温 20°C におけるデチューニング量（ meV ）は、従来の 30meV よりも大きな 43meV に設定される。このような設定によれば、例えば 85°C といった高温環境においては、デチューニング量は約 30meV 程度となり、変調器の動作にとって最適状態となる。一方、 0°C といった低温環境においては、デチューニング量は 50meV となる。この場合は、オフセット電圧を増加させることで良好な消光を得ることができる。このように、本発明によれば、温調不要の構造を提供することが可能である。なお、低温時における、増加したバイアス電圧の値を 1V 以下となるように変調器長を設定すれば、上述した低電圧動作を損なうことはない。

【0025】

本発明の変調器集積化光源の製造方法は、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源の製造方法であって、

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を含む領域に第 1 のバンドギャップを有する活性層を成長する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程で形成した活性層の、前記電界吸収型光変調器の活性層の領域に対応する部分を削除して前記半導体レーザの活性層とする第 2 の工程と、

前記第 2 の工程で削除された領域に、前記電界吸収型光変調器の活性層として、前記第 1 のバンドギャップとは異なる第 2 のバンドギャップを有する活性層を成長する第 3 の工程を含むことを特徴とする。

【0026】

上記の製造方法によれば、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を別々の工程で形成することができるので、それぞれの活性層の組成、量子井戸数およびバンドギャップを最適化することができ、上述した本発明の変調器集積化光源を容易に形成すること

ができる。

【発明の効果】

【 0 0 2 7 】

【0027】
上記のとおりの本発明によれば、消光比が10 dB以上で、増幅器（ドライバ）が不要な構成を実現することができるので、従来のものに比べて、省電力化、小型化および低コスト化を図ることができる。

【 0 0 2 8 】

【0028】
また、本発明によれば、動作温度の範囲（例えば、0℃から85℃）が従来のものより広く、温調制御機構が不要であるので、その分、消費電力を小さくすることができる。また、小型化および低コスト化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 9 】

【0029】
次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 3 0 】

【0030】
図1（a）、本発明の第1の実施形態である変調器集積型光源の上面図、図1（b）は図1（a）のA－A線における断面図、図1（c）は図1（a）のB－B線における断面図である。

【 0 0 3 1 】

【0031】
図1(a)～図1(c)を参照すると、分布帰還型レーザ部1aと光変調器部1bが同一の高抵抗半導体基板1上に形成されている。高抵抗半導体基板1は、例えば高抵抗InP基板、より具体的には鉄(Fe)をドーパントしたInP基板である。高抵抗半導体基板1上に導波層(光ガイド層)5、 n^+ -InPバッファ層18、量子井戸よりなる活性層部、 n -InPクラッド層7の積層構造が導波方向にわたって形成されており、その両端に劈開面を有する。一方の劈開面に高反射コート16が、他方の劈開面には低反射コート17がそれぞれ形成されている。

【 0 0 3 2 】

【0032】
高抵抗半導体基板1と導波層5の境界面の一部に、 $\lambda/4$ 位相シフト構造4を備えた回折格子3を有する。 $\lambda/4$ 位相シフト構造4は、位相シフト位置が対称のものであっても、非対称のものであってもよい。また、このような $\lambda/4$ 位相シフト構造4を設けない構造としてもよい。

【 0 0 3 3 】

【0033】
 活性層部は、分布帰還型レーザ部1aの活性層（量子井戸）6と光変調器部1bの活性層（量子井戸）11とからなる。活性層6は回折格子3上に位置する。これら活性層6、11はいずれも周知の多重量子井戸構造のものであるが、バンドギャップの大きさが異なる。ここでは、活性層11の量子井戸のバンドギャップが、活性層6の量子井戸のバンドギャップよりも大きくなるように形成されている。

【 0 0 3 4 】

【0034】
n-I n P クラッド層 7 上の分布帰還型レーザ部 1 a の領域にキャップ層 8 が、光変調器部 1 b の領域にキャップ層 13 がそれぞれ形成されている。これらキャップ層 8、13 は SiO₂ 膜 24 で覆われている。キャップ層 8 上の SiO₂ 膜 24 の領域の中央付近にはコンタクト窓 26 が形成されており、このコンタクト窓 26 を覆うように P 電極 9 が形成されている。これと同様に、キャップ層 13 上の SiO₂ 膜 24 の領域の中央付近にはコンタクト窓 27 が形成されており、このコンタクト窓 27 を覆うように P 電極 14 が形成されている。P 電極 9 と P 電極 14 は電極分離部 15 にて分離されている。P 電極 14 の一部には、光変調器電極ワイヤ用のパッド 25 が形成されている。

【 0 0 3 5 】

【0035】
 n^+ -InPバッファ層18上に形成された、活性層6、11、 n -InPクラッド層7、およびキャップ層8、13の部分は、メサ形状になっている。メサ部の、活性層6、11の両側部に位置する部分には、電流ブロック構造20、21を有する。メサ部の端部はSiO₂膜24で覆われている。 n^+ -InPバッファ層18上のSiO₂膜24の領域

の中央付近にはコンタクト窓 28 が形成されており、コンタクト窓 28 を覆うように N 電極 32 が形成されている。N 電極 32 と P 電極 9 および P 電極 14 とは、ともに同じ素子面上に形成されており、対向しない配置とされている。n-I n P 基板 31 の裏面には、P 電極 9、14 および N 電極 32 と対向するメタライズ層 2 が形成されている。

【0036】

本実施形態の変調器集積型光源においては、P 電極 14 と N 電極 32 が同じ素子面側に位置し、かつ、基板として高抵抗半導体基板 1 を用いる。この構成によれば、変調器の静電容量は、活性層 11 の静電容量のみとみなすことができるため、変調速度 B (Gb/s) と変調器長 L (μm) は反比例の関係になる。このような構造の場合、変調速度を高くするためには、通常は、変調器長を短くすることになるが、本実施形態では、変調器を通す光をより多く吸収できるように変調器長 L を長くするといった、通常と過する光をより多く吸収することができるように変調器長 L を長くするといった、通常とは反対の技術思想に基づく構造を採用することで、増幅器 (ドライバ) が不要な構成、すなわち動作電圧が 1 V 以下の低電圧動作が可能な構成を実現している。ここで、変調器長 L とは、活性層 11 の、分布帰還型レーザ部 1a からの発振光を実質的に吸収する領域の導波方向における長さをいう。

【0037】

図 2 に、変調速度を 10 Gb/s とした場合の変調器長とオフセットバイアス電圧 (以下、単にオフセット電圧という) との関係を示す。図 2 中、横軸は変調器長 (μm)、縦軸はオフセット電圧 (V) である。曲線 a が、本実施形態の変調器集積型光源に関するものであり、曲線 b が、高抵抗基板を用いていない従来のものに関するものである。

【0038】

曲線 b では、変調器長を長くしても、オフセット電圧は 1 V 以下になることはない。これに対して、曲線 a では、変調器長が $200 \mu\text{m}$ 以上で、オフセット電圧は 1 V 以下となる。すなわち、変調器長を $200 \mu\text{m}$ 以上とすれば、1 V 以下の低電圧動作が可能となり、増幅器 (ドライバ) が不要な構成を実現することができる。本実施形態では、この知見に基づき、変調器長を $200 \mu\text{m}$ 以上にすることで低電圧動作を実現する。具体的には、変調器長 L と変調周波数 B との関係が反比例にあることを考慮して、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \quad (\text{式 1})$$

の条件を満たすように変調器を構成する。この構成によれば、オフセット電圧は必ず 1 V 以下になるので、増幅器は不要である。

【0039】

上記式 1 において、増幅器を不要とする構成を実現するという観点から、下限値が重要な意味を持つ。なお、「 $L \times B$ 」の上限値は、特に限定するものではなく、製造手法や設計上の条件によって適宜決定される。例えば、変調器長 L が長くなりすぎると静電容量 C が増大することから、CR リミットから「 $L \times B$ 」の上限値を決定するようにしてもよい。例えば、変調周波数 B が 2.5 Gb/s 、素子抵抗 R が 2Ω (オーム)、変調器長 L が $2000 \mu\text{m}$ 、アンドープ層の厚さが $0.2 \mu\text{m}$ である場合、CR 時定数は 2.5 (ピコ秒) となる。余裕度を高めるために、その CR 時定数の 10 倍の時間が 1 ビットのパルスに必要であるとすると、25 ピコ秒、すなわち 40 Gb/s が CR リミットとされる。この CR リミットから、上記式 1 において、「 $L \times B$ 」の上限として「 $2000 \mu\text{m} \times 40 \text{ Gb/s}$ 」の上限が存在することが分かる。よって、この上限を考慮すると、

$$2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \leq L \times B \leq 80000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \quad (\text{式 2})$$

の条件を満たすように構成することがより望ましい。

【0040】

なお、変調器長を $200 \mu\text{m}$ 以上とする場合、変調器長が長くなることによる静電容量の増大、すなわち帯域劣化を生じるが、本実施形態では、高抵抗半導体基板を用いることでそのような帯域劣化を抑制する構造となっている。

【0041】

また、変調器を長くした場合、変調器の動作のための電圧振幅も図 2 に示したオフセット電圧の減少傾向と同様な傾向を示すことになる。オフセット電圧は、通常、光を 1/2

の強度に減少させることのできる電圧とされる。これは、光をデジタル変調（オン／オフ変調）する際に、通常は電気信号に対して変調器の応答が遅れるために、デジタルのオン、オフの信号が少しなめらかに追従することによる。変調器からの出力の信号波形は、1／2強度の値となる電圧を中心として、オン、オフの側に振幅されることから、その中心電圧がオフセット電圧である。変調動作のための電圧振幅は、例えば光をオフにするには1／10や1／20の強度にまで消光（オフ）するのに必要な電圧により定義される。ここで、変調器長を長くしてオフセット電圧を低減すると、同様に、光をオフにする電圧も低減されることになる。したがって、その減少傾向は、図2のオフセット電圧と同様に変調器長に対して減少傾向になる。

【 0 0 4 2 】

【0042】
 上述した低電圧動作に加えて、本実施形態の変調器集積型光源は、動作温度の範囲が広く、温調制御機構が不要な構成となっている。以下に、その具体的な構成について説明する。

【 0 0 4 3 】

【0043】
動作温度が低くなると、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発振波長よりも短波長側に大きくシフトして消光比を劣化させることになる。この場合、良好な消光を得るためには、大きなバイアス電圧を印加する必要がある。一方、動作温度が高くなると、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発振波長に近づくこととなり、無電界時の変調器部の吸収が大きくなって消光比を劣化させることになる。このようなデチューニングの温度特性を考慮して、本実施形態では、低温時において、大きなバイアス電圧を必要としないように、変調器長が上述した式1したがって予め設定されるとともに、高温時において、変調器部の吸収が大きくなるように、室温時におけるデチューニング量（エネルギー換算値）が予め設定されている。

【 0 0 4 4 】

【0044】
図3に、分布帰還型半導体レーザの発振波長と変調器の吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量（エネルギー換算値）と無電界時における変調器の透過率との関係を示す。図3において、横軸はデチューニング量（meV）であり、縦軸は変調器の透過率（％）である。破線の矢印で示された範囲が、従来のものにおけるデチューニング量の設定範囲で、実線の矢印で示された範囲が、本実施形態のものにおけるデチューニング量の設定範囲である。

【 0 0 4 5 】

【0045】
従来例のものにおいては、室温におけるデチューニング量 (meV) は、27～38 meV程度に設定されるため、変調器は室温付近でしか動作しなかった。これに対して、本実施形態のものでは、室温におけるデチューニング量 (meV) は40 meV以上とされている。具体的には、室温20℃におけるデチューニング量を、従来の30 meVよりも大きな43 meVに設定している。この場合、デチューニングの温度特性から、例えば85℃といった高温環境においては、デチューニング量は約30 meV程度となる。このデチューニング量が30 meV程度の状態は、変調器の動作にとっては最適な状態である。一方、0℃といった低温環境においては、デチューニング量は50 meVとなる。この場合は、オフセット電圧を増加させることで良好な消光を得ることができる。この低温時には、増加したバイアス電圧の値が1 V以下となるように変調器長を設定すれば、上述した低電圧動作を損なうことはない。

【 0 0 4 6 】

【0046】
 なお、室温におけるデチューニング量の上限は、半導体材料のQCSEシフトが発生する限界によって決まる。具体的には、その限界はデチューニングのエネルギー換算値で100meVである。よって、本実施形態では、分布帰還型レーザ部1aの発振波長と光変調器部1bの吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量のエネルギー換算値 ΔX が、

$$40 \text{ meV} \leq \Delta X \leq 100 \text{ meV} \quad (\text{式 } 3)$$

の条件を満たすように設定されている。

【0047】

以上のように、本実施形態のものによれば、式1（または式2）および式3の条件をそれぞれ満たすことで、上述した低電圧動作に加えて、変調器の温度を一定に保つための温度制御機構を必要としない非温調動作を実現することができる。想定最低動作温度を例えば0℃以下とすることができ、また、想定最高動作温度を例えば50℃以上とすることができる。なお、室温におけるデチューニング量が、変調器の動作にとって最適な状態となる30meV程度に設定される従来のものにおいては、室温より高い温度では良好な消光を得られないため、温度制御機構が必要となる。

【0048】

次に、図1(a)～図1(c)に示した変調器集積型光源の製造手順を簡単に説明する。

【0049】

まず、干渉露光法や電子ビーム露光法等を用いた周知のフォトリソグラフィ法により、 $1/4\lambda$ 位相シフト構造4を含む回折格子3を高抵抗半導体基板1上に形成する。この回折格子3を形成する領域は、分布帰還型レーザとして動作する領域のみである。

【0050】

次いで、全面に、InGaAsPよりなる導波層5および n^+ -InPバッファ層18を順次成膜した後、その上に、InGaAsP/InGaAsP量子井戸よりなる活性層6およびInGaAsP/InGaAsP量子井戸よりなる活性層11を形成する。ここで、InGaAsPに代えてInGaAlAsを用いることもできる。これら活性層6、11は、周知の選択成長法により、互いのバンドギャップの大きさが異なるように同時に形成する。選択成長法によれば、SiO₂マスクを用いて成長減量の到達量を調整することにより、基板面内で異なる量の原料供給を可能とし、異なる厚さの量子井戸を形成することができる。これにより、量子井戸のバンドギャップ波長を、基板面内で制御することができるので、分布帰還型レーザ部1aと変調器部1bで異なるバンドギャップ波長となるように形成することができる。活性層6、11は、その電気伝導特性がアンドープ（高抵抗）となるように形成する。

【0051】

次いで、電流ブロック層20、21を成長した後、全面に、P-InPクラッド層7およびP-InGaAsよりなるキャップ層8、13を順次成長する。その後、周知のウェットエッチング法またはドライエッチング法により、活性層6、11の近傍をエッチングし、 n^+ -InPバッファ層18の一部を露出させる。

【0052】

次いで、全面にSiO₂膜24を堆積させ、コンタクト窓26～28をエッチングにより形成する。そして、P電極9、14、n電極32を形成する。このとき、パッド25も同時に形成する。

【0053】

最後に、高抵抗半導体基板1の裏面を研磨して素子の厚さを100μm程度とした後、研磨した面に金属を蒸着することでメタライズ層2を形成する。

【0054】

上記の製造工程では、活性層6、11を選択成長法により形成したが、本発明はこれに限定されるものではない。活性層6、11は、バットジョイント法で形成することもできる。バットジョイント法では、まず、全面に（活性層6、11の領域を含む）に第1のバンドギャップを有する活性層を成長する。その後、周知のウェットエッチング法またはドライエッチング法により、活性層11の領域の部分を削除して活性層6を得る。次に、その削除した部分にのみ、第1のバンドギャップとは異なる第2のバンドギャップを有する活性層を成長して活性層11を得る。このバットジョイント法によれば、活性層6、11をそれぞれ異なる工程で形成することができるので、各活性層6、11の組成、量子井戸数およびバンドギャップをそれぞれ独立に設定することができ、容易に最適化を行うことができる。

【0055】

上記のバットジョイント法を用いることにより、分布帰還型レーザ部 1a と変調器部 1b の活性層構造を独立に制御可能となるため、変調器の量子井戸にタイプ I I の構造を適用することができる。タイプ I I の構造について以下に簡単に説明する。

【0056】

量子井戸の構造としてタイプ I、I I の 2 つの構造が知られている。タイプ I の量子井戸は、井戸の導電帯のエネルギーレベルが、バリアの導電帯のエネルギーレベルよりも高く、かつ、井戸の価電子帯のエネルギーレベルが、バリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも低い構造のものをいい、通常は、電子、正孔がともに井戸内に閉じ込められている。一方、タイプ I I の量子井戸は、導電帯のエネルギーレベルの関係はタイプ I の構造と同じであるが、井戸の価電子帯のエネルギーレベルが、バリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも高い。

【0057】

タイプ I I の量子井戸では、正孔は井戸内に閉じ込められるが、電子は井戸内に閉じ込められることはないために、通常は、量子井戸は光を吸収できない構造となっている。タイプ I I の量子井戸に逆バイアス電圧を印加すると、エネルギー準位が傾いて、バリアに閉じ込められている電子が作用することで、光を吸収できるようになる。このタイプ I I の量子井戸の、逆バイアス電圧を印加する前と印加した後における光の消光比（オン／オフ比）は、タイプ I の量子井戸のもより大きい。したがって、変調器の活性層にこのタイプ I I の量子井戸の構造を適用することで、より大きな消光比を得ることができる。

【0058】

タイプ I I の量子井戸は、井戸の組成を価電子帯のエネルギーレベルが高くなるような組成を用いることで容易に形成することができる。タイプ I I の量子井戸として、例えば、特許 3001365 号に記載されているような、InAlAs よりなる井戸に InP バリアを含むタイプ I I の量子井戸を用いることができる。

【0059】

（実施形態 2）

第 1 の実施形態の変調器集積型光源において、光変調器の電極を進行波電極構造とすることもできる。ここでは、そのような進行波電極構造を有する変調器集積型光源について説明する。

【0060】

図 4 (a)、本発明の第 2 の実施形態である変調器集積型光源の上面図、図 4 (b) は図 4 (a) の A-A 線における断面図である。図 4 (a) および図 4 (b) において、図 1 (a) ~ 図 1 (c) に示したものと同一のものには同じ符号を付してある。ここでは、説明の重複を避けるために、特徴部についてのみ説明する。

【0061】

本実施形態の変調器集積型光源は、図 1 (a) ~ 図 1 (c) に示した変調器集積型光源において、変調器部 1b の P 電極 14 を進行波電極 22 で置き換え、さらに、活性層 6、11 上にアンドープ InP 層 23 を設けた構成になっている。本実施形態においても、前述した式 1（または式 2）および式 3 の条件をそれぞれ満たすことで、増幅器および温度制御機構を必要としない構成とされている。

【0062】

進行波電極 22 は、供給される変調電気信号が、電極分離部 15 側の第 1 の端部からその反対の側に位置する第 2 の端部に向かって進行するような電極構造になっている。進行波電極 22 の第 1 の端部側には、進行波電極ワイヤ用のパッド 29 が、第 2 の端部側には、進行波電極ワイヤ用のパッド 30 がそれぞれ形成されている。この電極構造によれば、変調電気信号が光の進行方向と同じ方向に進むことになるために、活性層 11 の容量に依存せずに、変調器信号を光に対してより有効に作用させることができ、変調効率を向上させることができる。

【0063】

アンドープ I n P 層 2 3 は、活性層 6 上の領域においては、その膜厚が同じになるように形成されており、活性層 1 1 上の領域、すなわち進行波電極 2 2 の下に位置する領域においては、その膜厚が低反射コート 1 7 側にいくにしたがって徐々に薄くなるように形成されている。

【0064】

変調器において、n 型半導体と p 型半導体に挟まれたアンドープ I n P 層 2 3 の厚さは、変調器の特性に大きく影響する。通常、変調器は、p-n ダイオードに逆バイアス電圧を印加することにより消光するようになっている。逆バイアス電圧によって、アンドープ（高抵抗）である変調器部の活性層に電界がかかるが、その電界が大きいほど、より多く消光することができる。進行波電極 2 2 は、理想的には、変調のための電磁波が電極を進行するにつれて電界強度は変化せずに進むと考えられるが、現実には、進行波電極 2 2 とそれまでの伝送線路との間にインピーダンス不整合が生じているために、変調電磁波が進行電極を進むにつれて、変調電磁波の電界強度は減衰してしまう。このために、変調器の前半部よりも後半部の方が、消光特性の劣化が大きい。この後半部における消光特性の劣化を低減するためには、電磁波の電圧が減少しても、変調器部の活性層にかかる電界強度が減衰しないようにする必要がある。

【0065】

電磁波の電圧とアンドープ I n P 層 2 3 の総厚の関係は、

$$E = V / d \quad (\text{式 4})$$

で与えられる。ここで、E はアンドープ I n P 層 2 3 にかかる電界、V は電磁波の電圧、d はアンドープ I n P 層 2 3 の厚さである。式 4 によれば、電圧 V が減少しても、厚さ d を薄くすることで、電界 E を一定に保つことが可能となる。進行波電極 2 2 とそれまでの伝送線路との間にインピーダンス不整合が生じている場合は、電気信号が進行波電極 2 2 を進行するにつれて電圧が減衰するが、活性層にかかる電界が減衰しないことから、本実施形態では、アンドープ I n P 層 2 3 の厚さを進行方向に対して薄くすることにより、電界を一定に保ち、消光特性を増大させるようになっている。

【0066】

本実施形態の変調器集積型光源によれば、光変調器の電極を進行波電極としているので、変調器の吸収層 MQW の静電容量を理想的にはほとんど取り除くことができ、動作変調帯域が上昇するという相乗的な効果を奏する。進行波電極 2 2 としては、例えば、特許 2996287 号に記載されているような進行波型電極を用いることができる。

【0067】

また、本実施形態においては、図 4 (b) に示したように、変調器部におけるアンドープ I n P 層 2 3 の厚さを、発振光の進行方向に対して徐々に薄くするようになっている。これにより、進行するに従って減少する電圧を補償することができ、変調器の消光特性の劣化を防止する効果を奏する。なお、変調器部におけるアンドープ I n P 層 2 3 の厚さを変化させる構造は、p 型ドーパントである亜鉛の拡散量を、導波路方向において調節することにより実現することができる。

【0068】

以上説明した各実施形態の変調器集積型光源において、その構成は、発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することができる。例えば、高抵抗半導体基板上に集積される分布帰還型レーザは、他の半導体レーザであってもよい。

【0069】

また、素子の信頼性向上および変調器部の動作電圧をより低減するために、非特許文献 1 に記載されているようなリッジ導波路構造ではなく、半導体または誘電体を用いた埋め込み構造で活性層を形成してもよい。加えて、埋め込み構造をアンドープ層（高抵抗層）としてもよい。このような埋め込み構造は、選択成長法により実現することができる。

【0070】

さらに、変調器の活性層に温度特性の良いアルミニウム系材料を用いてもよい。通常、半導体レーザおよび変調器には、I n G a A s P 系材料が用いられる。これは、バリアの

価電子帯のエネルギー準位と井戸の価電子帯のエネルギー準位のエネルギー差 ΔE_c が、小さい材料であるため、高温環境での動作時に、電子が井戸からオーバーフローし、光出力が低下することとなる。これを防止するため、例えば InGaAlAs や InAlAs などの Al 系材料を用いると、 ΔE_c が InGaAsP 系のものに比べて 2 倍程度に改善されて、電子の井戸からのオーバーフローを抑制することができる。この結果、高温環境での動作時における光出力低下を抑制することができる。このように、アルミニウム系材料を用いることで、分布帰還型半導体レーザの温度特性を向上させるという相乗的な効果を奏し、動作温度をより高温にすることが可能となる。

【0071】

また、電流ブロック層の残留静電容量を低減するために、電流ブロック層を高抵抗埋め込み層により形成してもよい。この場合は、活性層を流れずにその周辺部を流れる電流の割合を低減することできるので、高温環境での動作時における半導体レーザの光出力の低下を抑制することができる。高抵抗埋め込み層としては、例えば特開 2000-35384 号公報に記載されているような、高抵抗 InP 層と n 型 InP 層を MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) 法により連続して埋め込み成長させた高抵抗埋め込み層を用いることができる。

【0072】

また、図 5 に示すように、光変調器部 1b の活性層 11 と低反射コート 17 とが接触しないように、それらの間に窓構造 33 を設けてもよい。この構造によれば、活性層 11 の端部から出射した光は窓構造 33 において拡散することになるので、低反射コート 17 に反射されて活性層 11 内に再び戻る光の量を大幅に低減することができる。なお、図 5 に示した窓構造は、第 1 の実施形態の構造に適用した例であるが、第 2 の実施形態の構造にも適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0073】

本発明は、幹線系、アクセス系などに使用される中長距離光源や、データコム系、エンドユーザ端末に使用される変調器集積化光源に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図 1 (a)】 本発明の第 1 の実施形態である変調器集積化光源の上面図である。

【図 1 (b)】 図 1 (a) の A-A 線における断面図である。

【図 1 (c)】 図 1 (a) の B-B 線における断面図である。

【図 2】 変調速度を 10Gb/s とした場合の変調器長とオフセットバイアス電圧との関係を示す図である。

【図 3】 分布帰還型半導体レーザの発振波長と変調器の吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量と無電界時における変調器の透過率との関係を示す図である。

【図 4 (a)】 本発明の第 2 の実施形態である変調器集積化光源の上面図である。

【図 4 (b)】 図 4 (a) の A-A 線における断面図である。

【図 5】 本発明の他の実施形態である変調器集積型光源の断面図である。

【図 6】 従来の変調器集積化光源の標準的な構造例を示す図である。

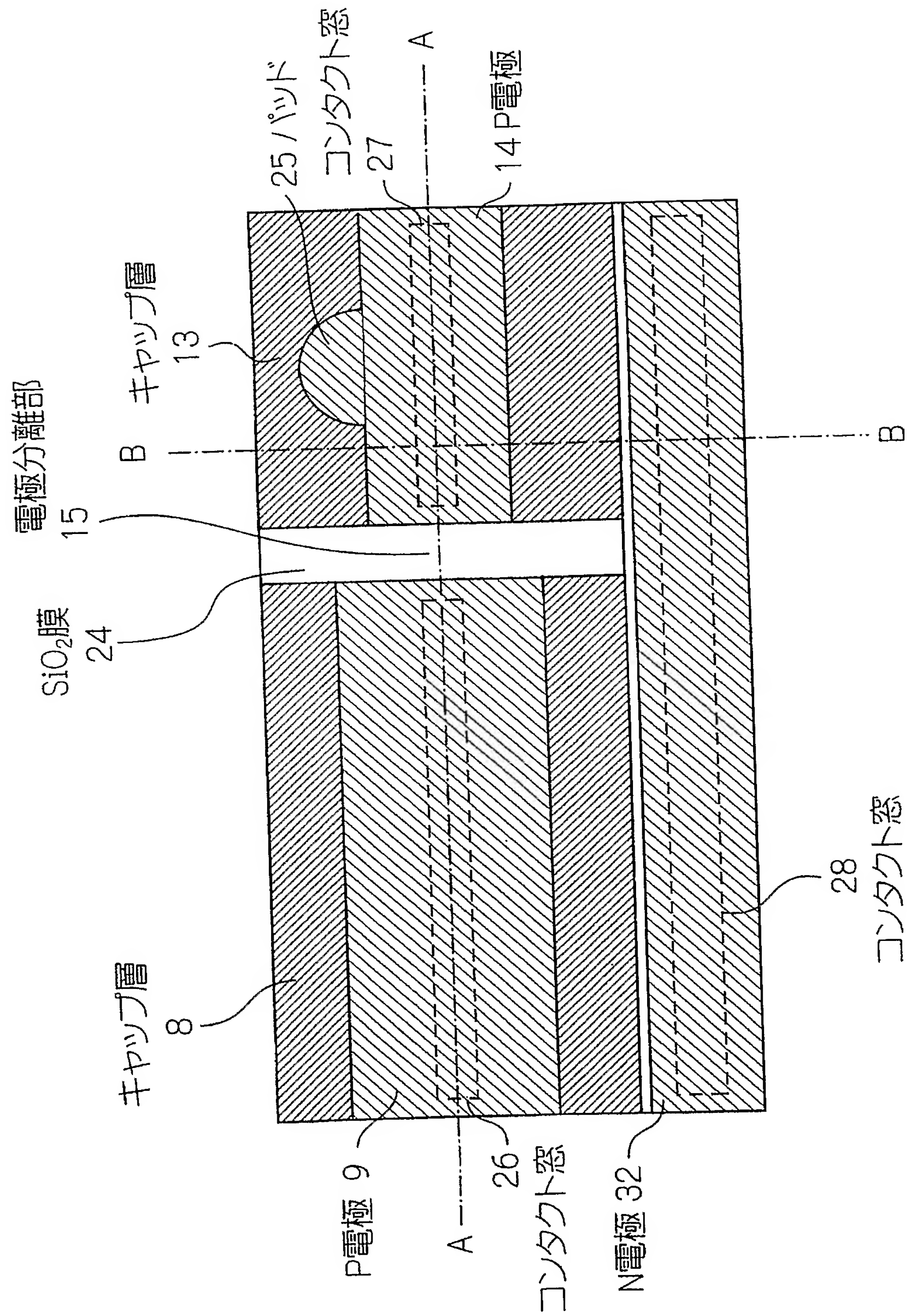
【符号の説明】

【0075】

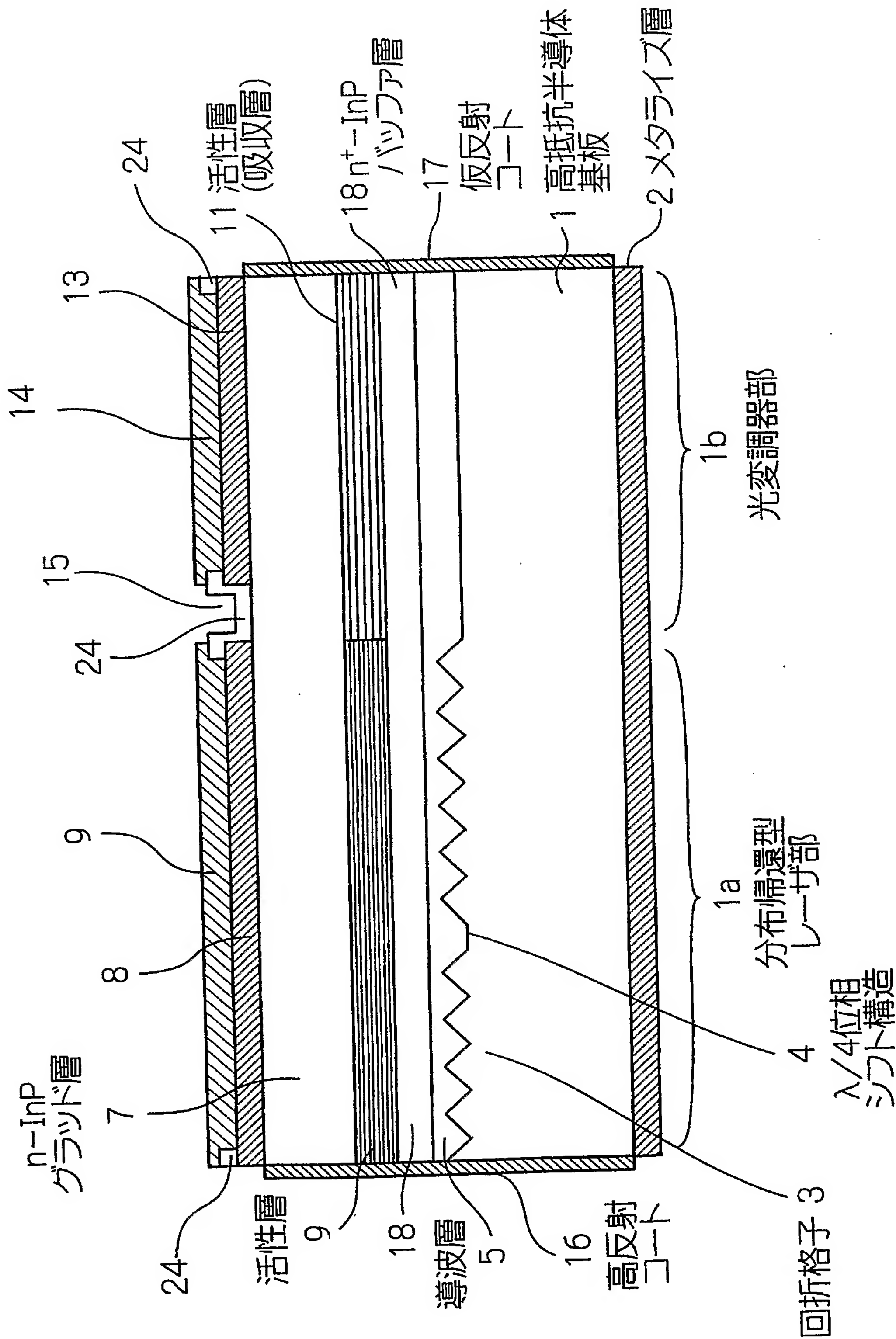
- 1 高抵抗半導体基板
- 1a 分布帰還型レーザ部
- 1b 光変調器部
- 2 メタライズ層
- 3 回折格子
- 4 $\lambda/4$ 位相シフト構造
- 5 導波層
- 6、11 活性層 (量子井戸)

- 7 n-InP クラッド層
- 8、13 キャップ層
- 9、14 P 電極
- 15 電極分離部
- 16 高反射コート
- 17 低反射コート
- 18 n⁺-InP バッファ層
- 19 バットジョイント部
- 20、21 電流ブロック層
- 22 進行波電極
- 23 アンドープ層
- 24 SiO₂ 膜
- 25、29、30 パッド
- 26～28 コンタクト窓
- 31 n-InP 基板
- 32 N 電極

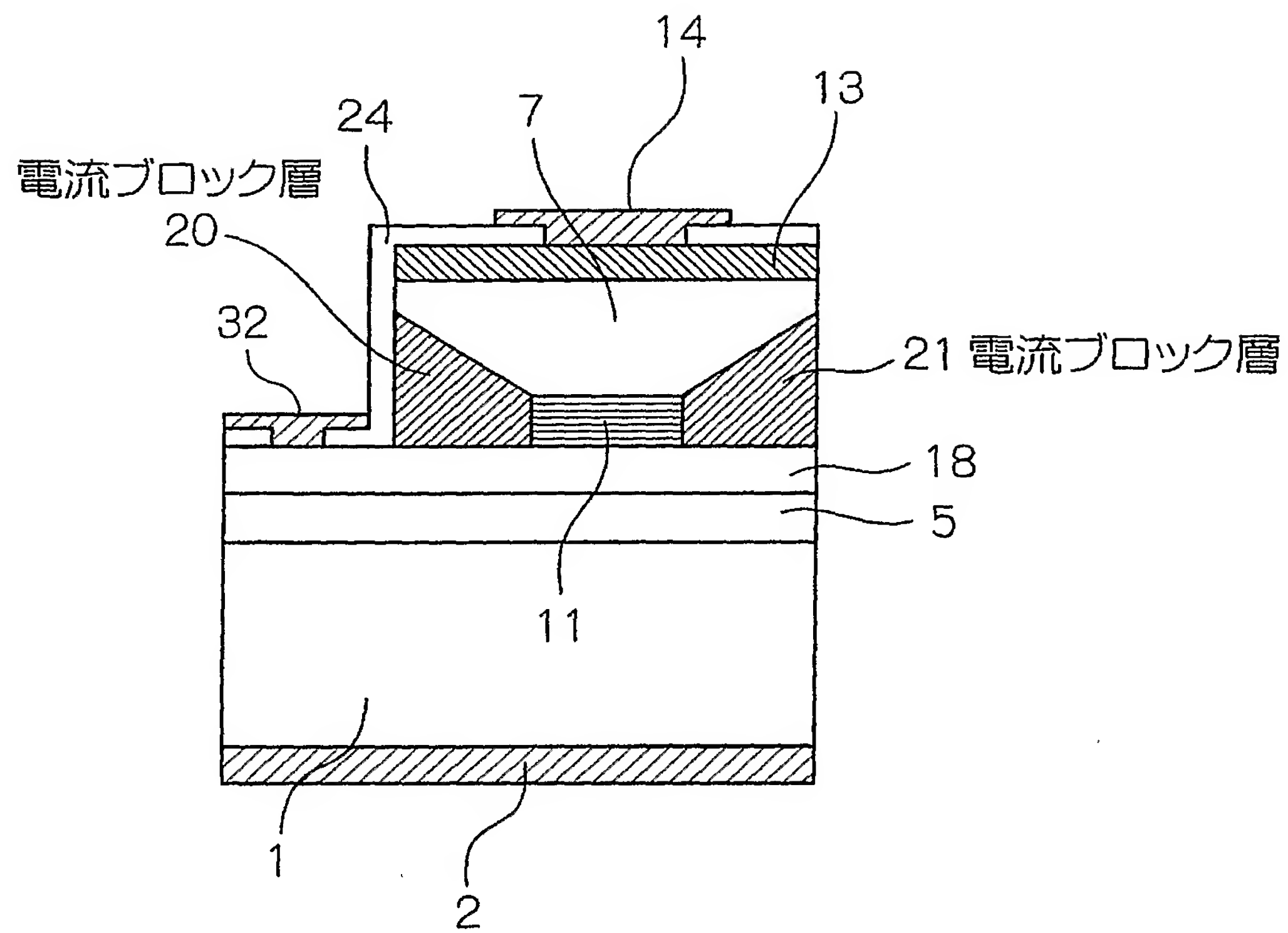
【書類名】 図面
【図 1 (a)】



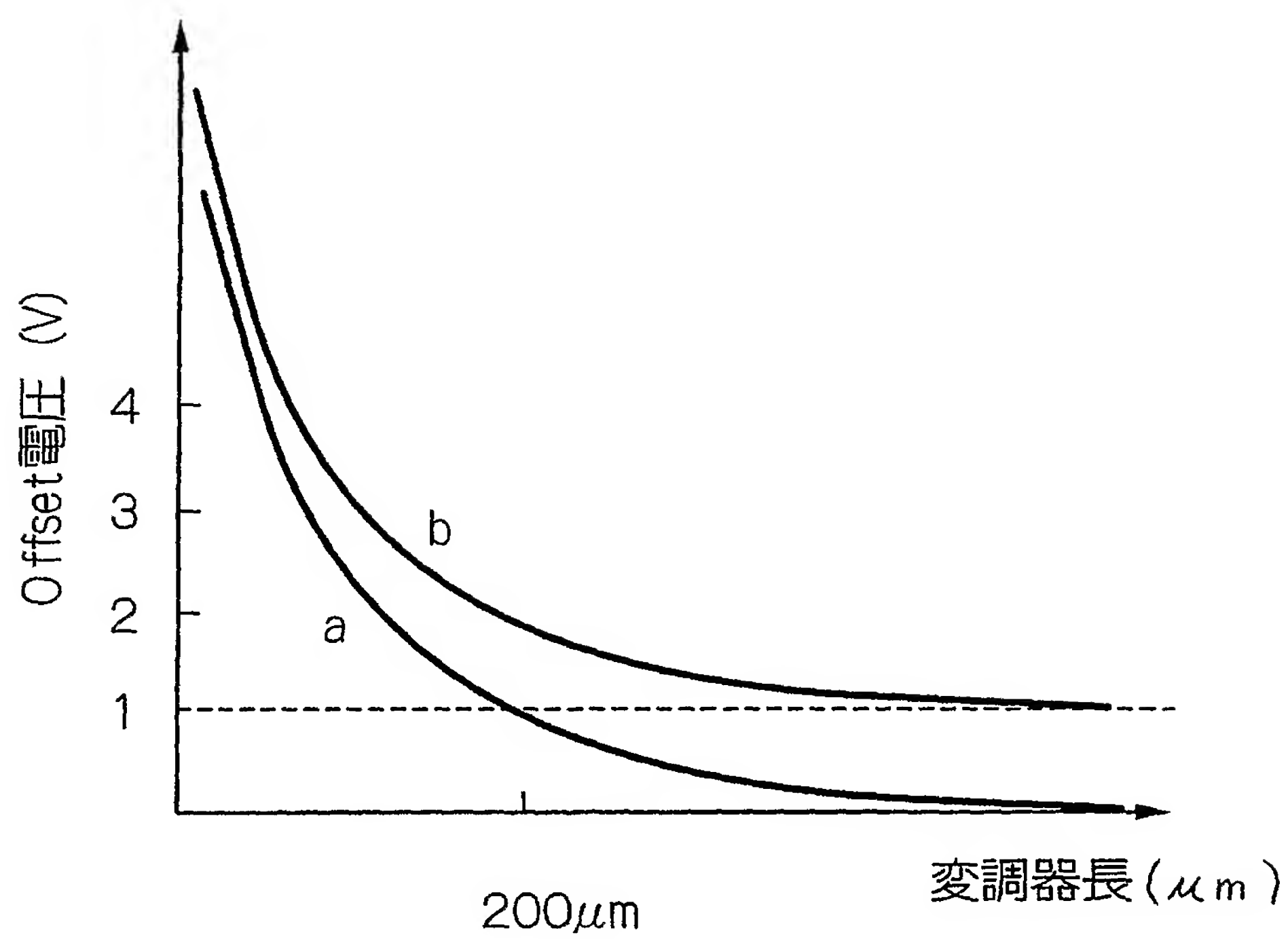
【図 1 (b)】



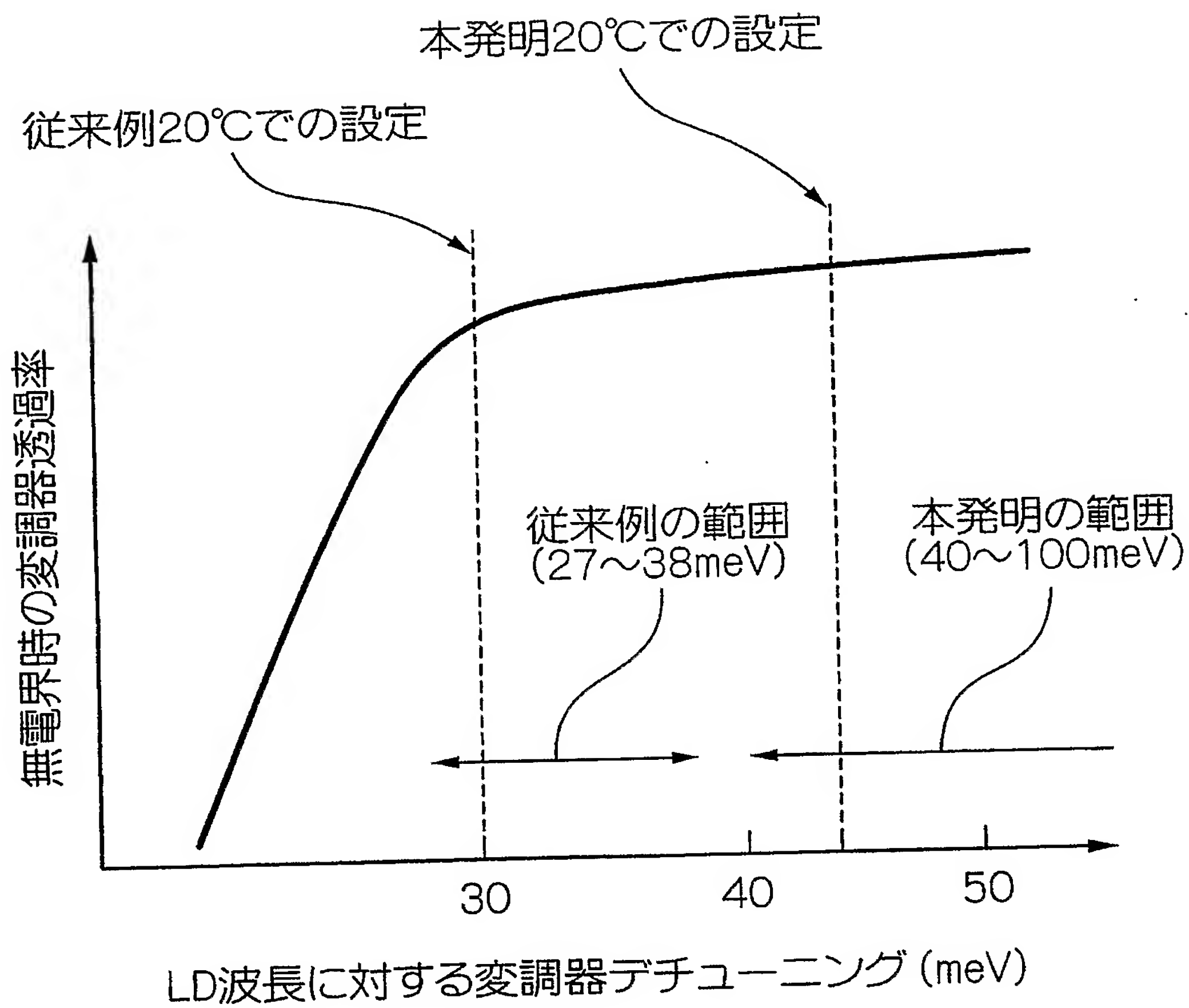
【図 1 (c)】



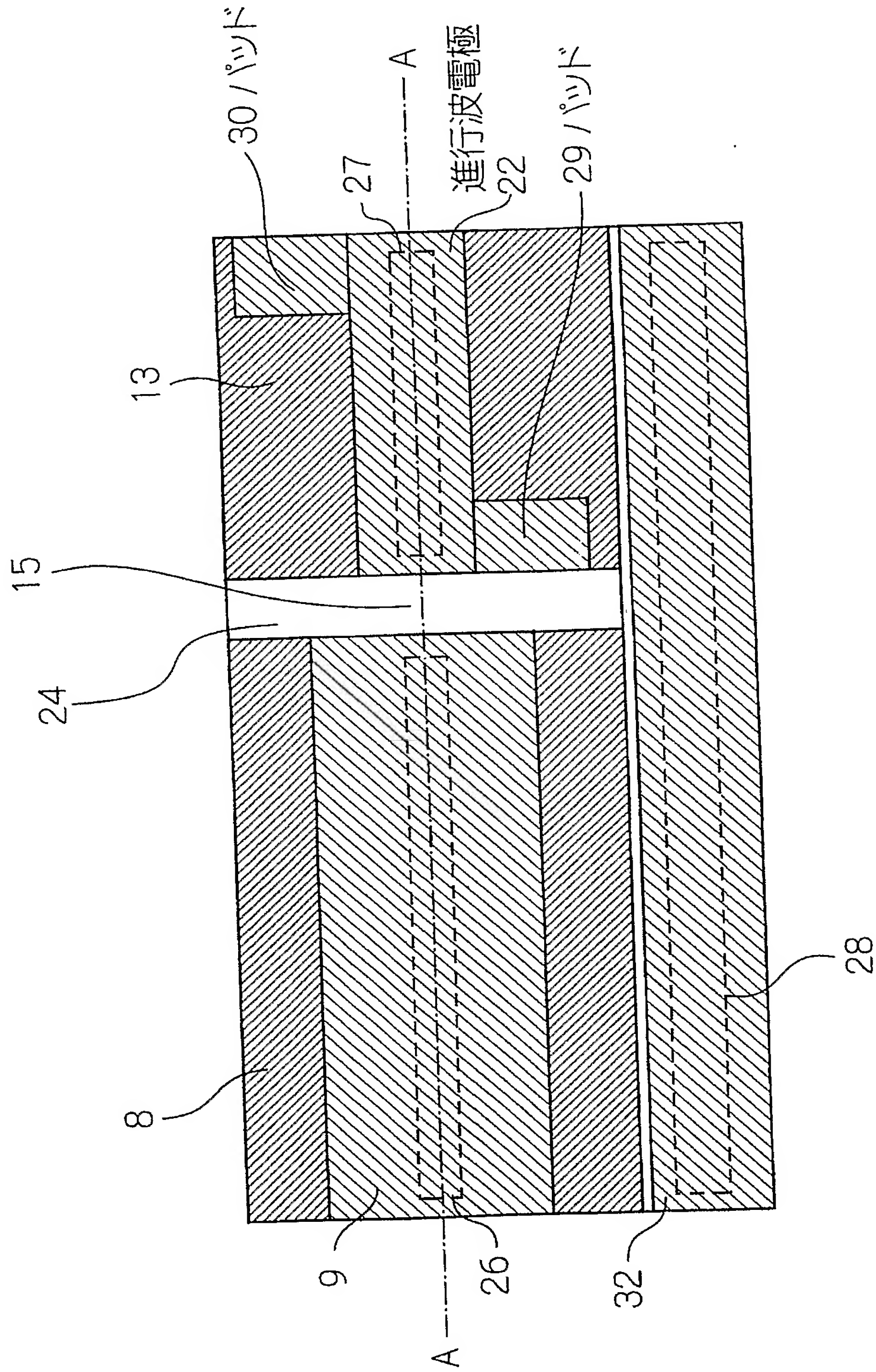
【図 2】



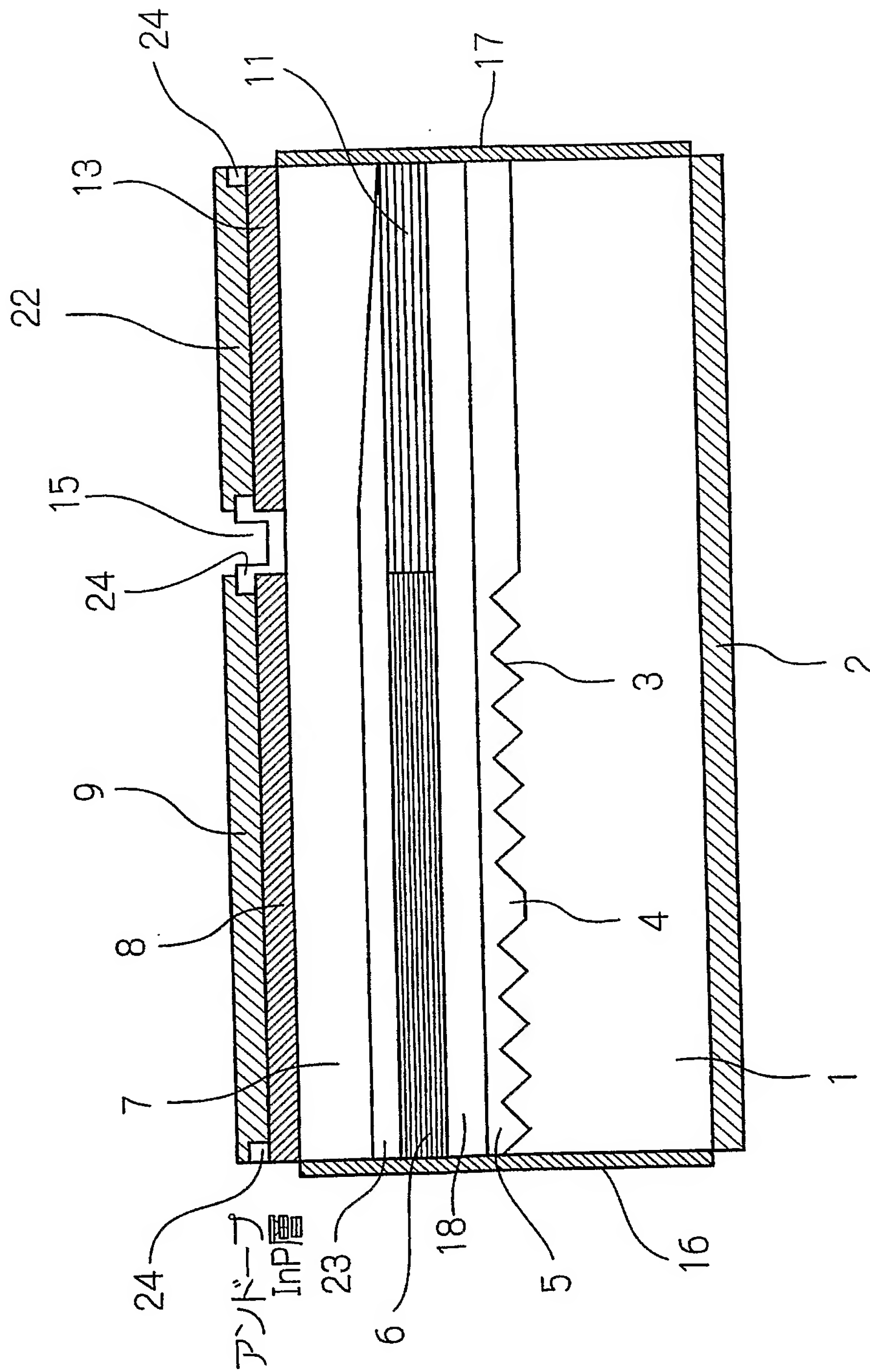
【図 3】



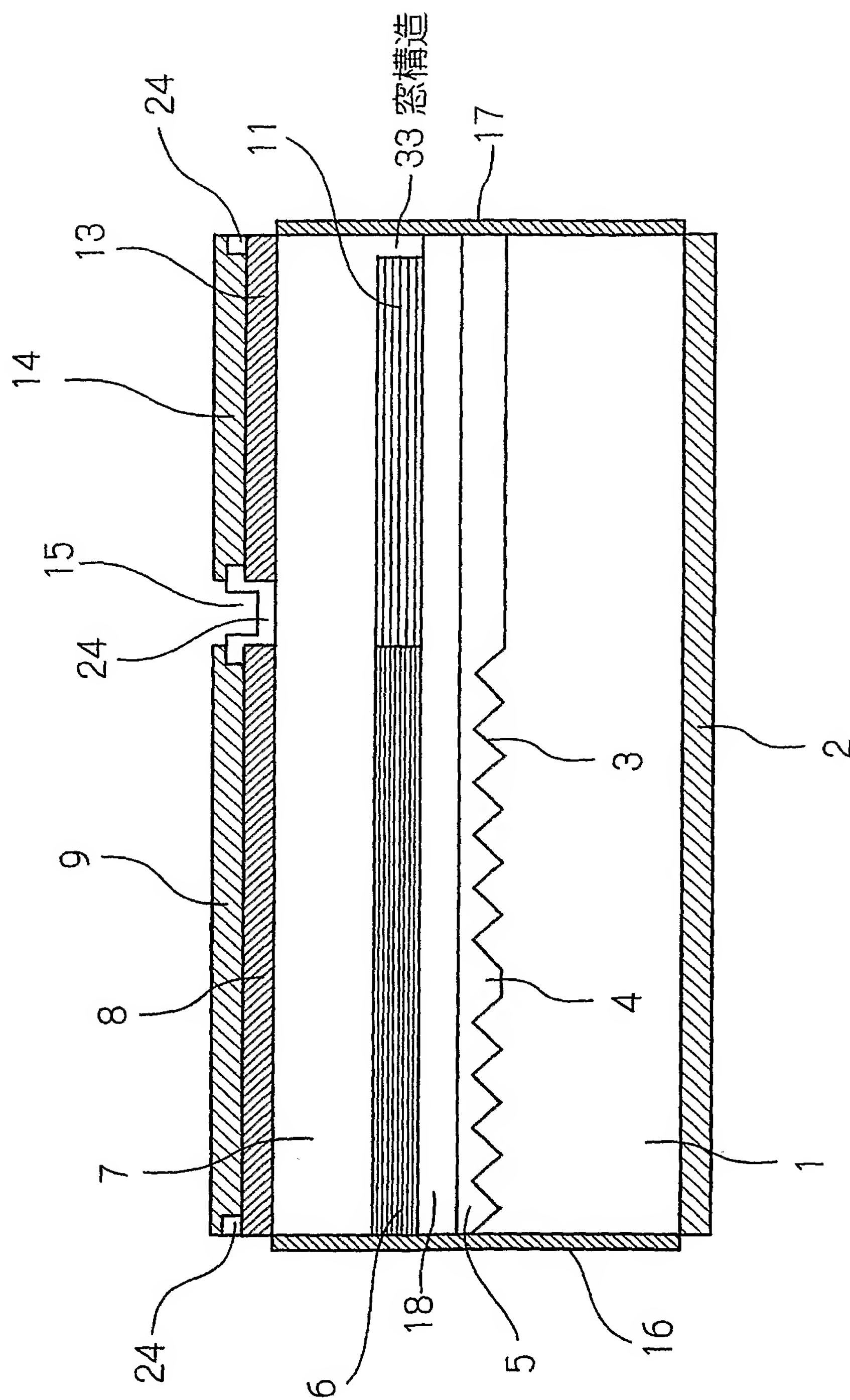
【図 4 (a)】



【図 4 (b)】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 増幅器や温度調整機構が不要で、光通信用途として十分な 1 0 d B 以上の消光比を得ることのできる、低コストで小型の変調器集積化光源を提供する。

【解決手段】 半導体レーザおよび変調器が高抵抗半導体基板 1 上に集積されてなる変調器集積化光源であって、上記電界吸収型光変調器は、高抵抗半導体基板 1 の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される P 電極 1 4 および N 電極 3 2 を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さを L、動作周波数を B とするとき、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$
の条件を満たすように構成されている。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 4 4 5 9 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更新月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更新理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

氏 名

日本電気株式会社